Revista Energética 35 (2006) 39 - 47
Artículo de Investigación

Sustitución de fuente de energia con microcentral hidroelectrica. Caso microcentral – pipintá

Jorge I. Gómez [1] , Luis A. Hincapié [2], Edgar Woodcock [3], Alvaro Arregocés [4]

Recibido para evaluación: 20 de Julio de 2005
Aceptación: 24 de Octubre de 2005
Entrega de versión final: 31 de Octubre de 2005

Resumen

En este artículo se hace una descripción simplificada de la Micro Central Hidroeléctrica – Pipintá a través de las características de sus componentes. Se presentan además estimativos de lo que serían los costos de construcción para la MCH tal cual existe hoy y para un rediseño; ambos referidos al año 2004. Una comparación de los costos de energía suministrados a través de la Interconexión Eléctrica con los de la MCH muestra como proyectos de esta naturaleza son viables en algunos casos en zonas rurales interconectadas de Colombia.

Palabras Claves: Microcentral Hidroeléctrica, electricidad, costo, red interconectada, zonas rurales de Colombia.

Abstract

This paper describes the Micro-Hydro Electric Pipintá through its main components and their parameters. An evaluation of the actual power plant costs and a proposed redesign are also given with prices referenced to year 2004. A comparison between the electricity price supplied by the grid and the cost for the electricity in this Micro-Hydro Power Plant let conclude that projects of this type are available in rural areas of Colombia reached by the grid.

Keywords: Micro-Hydro Power Plant, price, electricity, grid, rural areas of Colombia.

[1, 2, 3] Docentes Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica – Facultad de Minas. Universidad Nacional – Sede Medellín.
jigomezg@unalmed.edu.co; luis82@epm.net.co; ewoodcock@unalmed.edu.co; aarregoc@unalmed.edu.co

© 2006 Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

En Colombia, la construcción de las grandes centrales hidroeléctricas a la par con el desarrollo de la interconexión que se dió desde finales de la década del 60, se llevó a cabo bajo el supuesto de que para las zonas interconectadas solo eran viables obras a gran escala (Manrique y Granda, 2004). Esta presunción condujo al desistimiento casi total de incursionar en proyectos de Mini y Microcentrales[1] hidroeléctricas.

La Microcentral Hidroeléctrica -MCH- Pipintá; localizada al sur del departamento de Antioquia en una de las regiones con mas alto índice de interconexión secundaria a nivel rural, muestra como proyectos de esta magnitud son factibles en algunos casos.

Este proyecto se analiza de dos formas: una basada en los costos de la obra en el año de su construcción, y la otra con base en un presupuesto a un rediseño hecho a esta MCH; ambos costos referidos al año 2004.

La MCH que se reseña aquí funciona en isla las 24 horas del día, abasteciendo de energía eléctrica al complejo turístico MIRADOR DEL PIPINTÁ. Esta MCH fue el resultado de la búsqueda de energía eléctrica a costos menores a los que tarifaba EADE[2] en 1997. Dichos costos de energía se erigían como uno de los factores que amenazaban la permanencia de este complejo turístico.

2. Localización, nivel de demanda y ficha técnica de la MCH.

La casa de máquinas de la MCH está situada a 500 metros de las instalaciones hoteleras del parador turístico. El parador a su vez se encuentra a 80 km al sur de Medellín en la vía que conduce a Cali.

El Hotel Pipintá, tiene una capacidad instalada de 25 habitaciones; cada una con refrigerador, abanico, televisor y tres bombillas en promedio. Igualmente posee una red de iluminación externa; cavas, bombas, así como baños turco y sauna. Cuenta con una casa de habitación para la gerencia y casa de habitación para empleados. Todo lo anterior representa un consumo cercano a 35 kW en horas pico. En la tabla 1 se presentan los componentes de la MCH con los parámetros técnicos mas relevantes.

3. Enfoque seguido en la construcción y costo de la obra

.

La característica que hace especial esta obra y que permitió reducir ostensiblemente los costos de fabricación fue la de haber sido construida con varios componentes de segunda mano. El conjunto Turbina-Generador perteneció a una MCH que funcionó en una vereda del municipio de Dabeiba – Antioquia. La tubería de presión había sido utilizada en líneas del oleoducto de ECOPETROL. Los conductores eléctricos y los postes para extender la red ya habían sido empleados por Empresas Públicas de Medellín.

La estimación de costos de la obra se hizo consultando de manera directa a su propietario, quien con facturas en mano en algunos casos y de su memoria la mayoría de las veces, permitió inferir las cifras globales invertidas en 1998 año en el cual fue construida la MCH, ver tabla 2. Como se puede observar, para algunos items no se logró acopiar información alguna. Una cifra que fue reiterada durante las diferentes entrevistas correspondió al valor total de la inversión; por ésto se fijó un ítem para gastos no precisados, que corresponde a la diferencia entre el costo total y la suma de los reportados.

Para establecer la comparación entre los costos de la energía vendida por EADE y la obtenida de la MCH, se optó por referir dichos valores al año 2004 por medio de la tasa de variación del Índice de Precios al Consumidor[3] , ya que el cálculo del costo para el rediseño propuesto en el siguiente numeral fue planteado con precios para dicho año.

4. Presupuesto para un rediseño de la MCH.

Debido al efecto que sobre el costo total de la obra presenta el uso de material reciclado y a fin de apreciar la viabilidad en condiciones normales; es decir con materiales nuevos, se propuso un rediseño allí donde se consideró posible. Sobre éste se presupuestó nuevamente la MCH, como ya se mencionó, a precios del año 2004.

En el rediseño se conservó el "Lay-Out" general de la MCH; es decir, la ubicación de componentes, longitud de la canalización, longitud de la tubería de presión y longitud de la red eléctrica son los mismos a los actuales. Cabe advertir que la topografía del lugar permite incrementar la altura de caída en 70 metros aproximadamente. En el rediseño estudiado se optó por no acrecentar la potencia de la MCH, para mantener la capacidad actual como referente de comparación. Los componentes de la obra que posibilitan un cambio significativo son:

-*Desarenador y tanque de carga.* A estos se les puede reducir su tamaño significativamente y por ende su costo.

-*Tubería de Carga.* Para ésta emerge como mejor opción en el momento actual la tubería en PVC (PAVCO, 2002).

-*Turbina.* Tipo pelton redimensionada a 50 KVA; tendría una reducción de costo grande si es de origen nacional.

-*Generador*. El cual se redimensiona a 50 KVA.

-*Control de frecuencia.* De sustituirse por uno de eyección de carga, se haría una reducción en el costo considerable.

La tabla 3 presenta los costos por componente para la MCH según rediseño.

Conviene hacer algunos comentarios acerca del porqué del rediseño de algunas partes de la MCH. Para la

Tabla 1. Ficha Técnica de la MCH-Pipintá.

ITEM	DESCRIPCION
Recurso Hídrico	Quebrada La Palmichala
Caudal promedio aproximado de la Quebrada	0.3 m3/s.
Caudal Máx. Utilizado	0.1 m3/s.
Altura de Caída	70 m.
Potencia Nominal	68 kW.
Potencia Máx. Eléctrica en el Generador	45 kW.
Rendimiento conjunto: Tubería-Turbina-Generador	0.7 Aprox.
Bocatoma	Acceso directo a un lado de la quebrada con presa. De concreto reforzada con acero.
Desarenador	Tanque alargado. 8.8 m largo; 1.5 ancho; 1.5 alto. Mampostería en ladrillos de cemento. Piso columnas y vigas de amarre en concreto y acero.
Canalización	Tubería de 12" de diámetro en acero y GRP. Longitud 170 m.
Tanque de Carga	Rectangular de 4 m de lado x 6 m de fondo. 2/3 partes enterrado con paredes de concreto reforzada con malla electro soldada.
Tubería de Presión	En acero, de 10"; sched. 40; 270 m de longitud. Una Válvula de compuerta.
Casa de Máquinas	Salón rectangular de: 7 m de fondo; 4.5 de ancho; 3.2 m alto. Mampostería en ladrillo y techo en teja de Fibro-cemento.
Descarga	Canal abierto rectangular de ladrillo revocado de 0.4 m de ancho; 0.5 m de profundidad y 9 m de longitud.
Turbina	Turgo de un chorro; Rodete de 0.5 m de diámetro. Marca Gilkes & Gordon.
Generador	Trifásico, sincrónico a: 240V; 1200 RPM; 75KVA. Marca General Electric.
Sistema de Control	El de frecuencia por regulación de caudal. El de voltaje por variación de corriente del campo magnético de excitación.
Red de Conducción Eléctrica	Red aérea trifásica en "Y". Tres cables por fase ACSR -1/0 AWG. Longitud 500 m.
Diseño del Proyecto	Ingeniero Electricista Juan Carlos Toro. Medellín
Diseño Sistema de Control	Ingeniero Electrónico Luis Ángel Hincapié. Medellín
Reconstrucción de Turbina	Taller Ingeman Ltda. Bello Antioquia.
Reparación Generador	Taller Eléctrico de Pascual Tamayo. Medellín
Financiación de la Obra	FINAGRO-Bancafé

Tabla 2. Costos de la MCH Pipintá en 1998 y actualizados según IPC a 2004.

DESCRIPCION DE COMPONENTES	**Según Propietario**	**Corregido de acuerdo a IPC**
Diseño del Proyecto (Estudios previos, Diseño general excepto sistema de control)	$ 10.000.000	$ 17.032.000
Bocatoma y Desarenador (incluye materiales,fletes y mano de obra)	$ 8.000.000	$ 13.625.600
Tanque de carga (incluye materiales, fletes y mano de obra)	$ 12.000.000	$ 20.438.400
Canalización (Tuberia Bocatoma-Desarenador-Tanque de carga)	$ 5.000.000	$ 8.516.000
Tubería de carga (Incluye apoyos, anclajes, soldadura y juntas de expansión)	$ 18.500.000	$ 31.509.200
Válvula de compuerta de 10".	Sin Dato	
Casa de Máquinas y canal de descarga (Mampostería, piso anclaje y techo)	$ 6.000.000	$ 10.219.200
Grupo Turbina-Generador de segunda	$ 4.000.000	$ 6.812.800
Reconstrucción rodete y aguja de la válvula	$ 4.000.000	$ 6.812.800
Reparación del Generador	$ 3.000.000	$ 5.109.600
Sistema de control (Diseño, construcción e instalación)	$ 18.000.000	$ 30.657.600
Conducción Eléctrica (Incluye cables, postes vestidos, tierras, protecciones e instalación)	Sin Dato	
Administración - Imprevistos - Utilidades	Sin Dato	
TOTAL PARCIAL	**$ 88.500.000**	$ 150.733.200
GASTOS NO PRECISADOS (Aquí figuran los items que no tiene un valor asignado)	$ 21.500.000	$ 36.618.800
COSTO TOTAL (Total Parcial + Gastos no Precisados)	**$ 110.000.000**	$ 187.352.000

tubería de carga; de persistir en el acero como la materia prima para su construcción, los costos en este componente de la MCH hubiesen sido 2.6 veces mayor. Téngase presente que los precios del acero en US$ a nivel internacional prácticamente se han triplicado en los últimos 4 años.

El tanque de carga en el diseño actual cumple una función adicional de reservorio de agua; por lo que su tamaño excede el estrictamente requerido para la función de la MCH. Como no resulta adecuado cargar la MCH con costos debidos a requerimientos ajenos a la de la generación de energía, se optó por rediseñar este componente a las reales necesidades de la MCH; razón por la cual sus dimensiones se reducen considerablemente (ELECTROBRAS, 1985).

La Turbina se podría sustituir por una pelton rediseñada a la capacidad actual del salto. Recuerde que la turbina actual es del tipo Turgo y está conectada a un

TABLA 3. Costos de la MCH – Pipintá a precios de 2004 para un rediseño propuesto.

CONCEPTO	COSTO
BOCATOMA (Se conserva diseño original. Incluye materiales, fletes y mano de obra)	$ 6.862.000
DESARENADOR (Rediseñado. Incluye materiales, fletes y mano de obra)	$ 6.816.000
CANALIZACION (incluye materiales, fletes y mano de obra)	$ 21.742.000
TUBERIA DE CARGA (Rediseñada. Incluye materiales, fletes y mano de obra asi como válvula de compuerta)	$ 33.047.000
CASA DE MAQUNAS Y CANAL DE DESCARGA (Se conserva diseño original. No incluye Puente grúa)	$ 5.000.000
TURBINA - Construcción (Tipo Pelton rediseñada y de fabricación nacional)	$ 10.000.000
TURBINA - Montaje	$ 1.000.000
TURBINA - Diseño	$ 1.200.000
GENERADOR (Para 50 KVA. Las demás especificaciones se conservan)	$ 7.800.000
GENERADOR -Montaje	$ 1.000.000
REGUALDOR AUTOMATICO DE VOLTAJE (Se conserva diseño original. Incluye diseño, construcción e instalación)	$ 1.500.000
REGULADOR DE FRECUENCIA (Sustituído por sistema de eyección de carga. Incluye diseño, materiales e instalación)	$ 2.700.000
RED ELECTRICA (Rediseñada. Incluye materiales e instalación)	$ 11.329.000
TOTAL PARCIAL (Costo de la obra previo a imprevistos y utilidades)	$ 109.996.000
ELABORACION DE PLANOS (4% del total parcial)	$ 4.399.840
SUBTOTAL (1)	$ 114.395.840
AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades. 15% del SubTotal)	$ 17.159.376
SUBTOTAL (2)	$ 131.555.216
ESTUDIOS PREVIOS Y DE FACTIBILIDAD (3% Total Parcial. Incluye planos)	$ 3.946.656
DISEÑO GENERAL DEL PROYECTO (7% Total Parcial)	$ 9.208.865
INTERVENTORIA (4% Total Parcial)	$ 5.262.209
GRAN TOTAL	$ 149.972.946

generador de 75 KVA. Si se adquiere importada, los costos mínimamente cuadruplicarían el indicado en la tabla 3; sin embargo, para turbinas pelton en tamaños y potencias como las referidas aquí, en el país existe una ingeniería madura para acometer no solo la construcción sino también el diseño (Cuartas, 2004).

El Sistema de Control de Frecuencia por Eyección de Carga representa economías grandes siempre y cuando se pueda aplicar. Si el caudal de agua disponible permanece constante durante los períodos de utilización de una MCH, no solo se puede prescindir de las partes mecánicas del controlador de frecuencia por regulación del caudal, sino también de la válvula de aguja del inyector de la turbina. En

el caso de Pipintá, es posible sustituir el controlador actual pero sin eliminar la válvula del inyector, a fin de no reducir la disponibilidad de la MCH.

5. Otros costos presentes en la obtención de energía a través de la MCH.

A fin de poder establecer la comparación de precios de energía entre la obtenida por la red interconectada y la de la MCH, se hace necesario además de la inversión inicial, considerar costos de: mantenimiento, de ley y de seguros.

Costos de Mantenimiento. Cabe advertir que el enfoque con el cual se le ha dado mantenimiento a la MCH ha sido el de reparar una vez que la falla se presenta. En opinión de los autores este esquema no ofrece inconvenientes serios al complejo turístico, dado que el hotel permanece como suscriptor de EADE; además, cuando se han presentado fallas de alguna consideración, estas suelen ser reparadas en el término de uno o dos días gracias a la cercanía a Medellín. Es claro que este enfoque no resultaría conveniente en regiones mas distantes o si las fallas tomasen varios días en ser reparadas.

Para tener una idea del costo de mantenimiento de la MCH que facilite la comparación del precio de la energía bajo este esquema, se toma como referencia la periodicidad que ha sido establecida a lo largo de estos primeros seis años de operación. La tabla 4 resume las operaciones mas importantes y un costo aproximado de éstas.

Algunas actividades que aparecen en la tabla 4 son estimadas dado que nunca se han ejecutado; por ejemplo, el repintado parcial de tubería y la reparación de anclajes y apoyos[4] . La reposición y/o reparación del rodete y la aguja no parece necesitarse en largo tiempo, ya que la revisión hecha a los 3 años mostraba un desgaste mínimo; aquí se opta entonces por asignarle vida útil de 10 años. Para la revisión de la red eléctrica, retensión de cables y mantenimiento de transformadores[5] , se consideró también un periodo de 10 años.

Costos de ley. Entre los costos fiscales solo se analizaron los asociados a la renta y predial. No se consideran los debidos a la generación de energía según la CREG, ni los de Industria y Comercio ya que no aplican.

Dada la dificultad de diferenciar la parte del impuesto de renta correspondiente a la MCH de la que debería pagar el complejo turístico en conjunto, y para que el caso aquí analizado no pierda representatividad, se optó por aplicar el criterio de renta presuntiva aún a costa de castigar la ventaja económica de la MCH. Los valores mostrados en la tabla 5 son el resultado de aplicar los conceptos de costos de ciclo de vida y flujos de caja bajo las siguientes condiciones:
-Financiación bancaria del 70% del costo de la obra.
-Período de cancelación del crédito 10 años.
-Impuesto de renta presuntiva del 6% sobre patrimonio líquido.
-Depreciación total de la obra 10 años.
-Tasa de interés para definir equivalencias de flujos de caja es la real, definida mas adelante por la relación (3).

Tabla 4. Actividades de mantenimiento; periodicidad y costo anual.

ACTIVIDAD	Frec. Anual	Costo Unitario	Costo Anual
Limpieza bocatoma, desarenador, tanque de carga y canal de desagüe.	18	$ 18.000	$ 324.000
Repintado parcial de tubería	2	$ 50.000	$ 100.000
Reparación de anclajes y apoyos de la tubería	0,2	$ 50.000	$ 9.000
Poda de arbustos cercanos a la red eléctrica	1	$ 40.000	$ 40.000
Revisión y engrase de compuertas y rodamientos	2	$ 10.000	$ 20.000
Revisión y/o reparación del sistema de control por mal funcionamiento o falla	1	$ 200.000	$ 200.000
Reapriete de cables flojos y remplazo de fusibles y remoción polvo generador	2	$ 10.000	$ 20.000
Reposición de rodamientos	0,2	$ 300.000	$ 52.000
Reposición de rodete y aguja del inyector	0,1	$ 4.000.000	$ 260.000
Mantenimiento Red Eléctrica	0,1	$ 700.000	$ 45.000
Costo Total			$ 1.070.000

Tabla 5. Costo anual por impuestos y seguros para la MCH Pipintá y su rediseño referidos al 2004.

ITEM	MCH - Pipintá	Rediseño
Impuesto de renta presuntiva (6% del patrimonio líquido)	$ 1.500.884	$ 1.201.467
Impuesto Predial (0,4% del valor comercial obra civil)	$ 551.837	$ 462.456
Prima de Seguros (0,7% del costo de la obra)	$ 1.311.464	$ 1.049.811
TOTAL	$ 3.364.185	$ 2.713.734

En lo que atañe al predial y ante la dificultad de desagregar la parte correspondiente a la MCH ya que este impuesto en zona rural suele ser aplicado sobre toda el área de terreno ponderado según la destinación que se le de a éste, aquí se ha fijado una tasa del 0.4% anual del costo comercial de la obra civil de la MCH. Un valor que seguramente excede el que le correspondería en la mayoría de casos. Ver tabla 5.

Costos de Seguros. Para proteger la inversión contra accidentes que inhabiliten la MCH, se ha considerado un valor de prima de seguro del 0.7% de la inversión inicial pagadero anualmente. En la
tabla 5 se incluyen este monto tanto para la MCH existente como para su rediseño.

6. Análisis económico

Para apreciar la ventaja económica que brinda una MCH como la de Pipintá en el entorno socio económico que la rodea, se ha procedido a establecer el Costo Unitario de Energía Generada -CUEG- en pesos colombianos del 2004 por kWh, tanto para la MCH tal cual existe hoy con costo corregido según IPC, ver tabla 2; como para la MCH rediseñada, ver tabla 3. Los CUEG han sido calculados tomando en cuenta flujos de caja y tasas de interés anuales, y comparados con las tarifas de EADE.

Para hallar el CUEG de la MCH se ha recurrido a la fórmula (ELECTROBRAS, 1985):

$$CUEG = \frac{C.anual + O\&M}{P.instalada \times 8760 \times FU} \qquad (1)$$

En la cual:

C.anual- Corresponde a la amortización anual de capital mas intereses, para cuota fija y una vida útil de la MCH de 20 años[6] . Ver fórmula (2).

O&M- Costo anual correspondiente a Mantenimiento, impuestos y seguros. Corresponde a la suma de los totales de las tablas 4 y 5.

P.Instalada- Potencia Máxima que puede entregar la MCH. Ver tabla 1.

8760- Horas contenidas en un año.

FU- Fracción de energía utilizada respecto al total máximo que puede entregar la MCH anualmente. Para la MCH se estima en 0.25 [7]

$$Canual = Inv.Inicial \times \frac{r(1+r)^{20}}{(1+r)^{20} - 1} \qquad (2)$$

Para el caso particular de la MCH – Pipintá se ha considerado r como la taza real de costo de dinero, la cual se ha definido por la relación (3).

$$r = m - \Delta IPC \qquad (3)$$

Donde:

m- Tasa de interés activo. En el 2004 fue aproximadamente de 14.91% efectivo anual (Banco de La República, 2005). Para simplificar cálculos aquí se toma en 15%.

IPC- Tasa de variación de índice de precios al consumidor. Para el 2004 fue del 5.5% (DANE, 2005)

r- Tasa anual de interés real.

Para estimar lo que valdría la energía consumida a través de EADE, se promedió el precio del kWh para el 2004, de acuerdo a las condiciones del hotel así: nivel 1, usuario no propietario de red – Red aérea, Estrato comercial (EADE, 2005).

Conviene precisar que como costo base del dinero se tomó la tasa de interés activo *–m-*; la cual "corresponde al promedio ponderado por monto de las tasas de crédito de consumo, preferencial, ordinario y tesorería. Por la alta rotación de este último tipo de crédito su ponderación se establece como la quinta parte de su desembolso ordinario" (Banco de La República, 2005). Dadas las características de la obra, la línea de crédito correspondería mas a la preferencial que por razones de política económica es inferior al valor aquí usado, como ocurrió en su momento con la financiación dada por FINAGRO para la construcción de la MCH.

El resultado de los cálculos para los diferentes Costos Unitarios de Energía
fueron:

-CUEG de la MCH, según inversión hecha en 1998 y corregida al 2004: **261 $/kWh.**
-CUEG de la MCH para un rediseño hecho en el 2004: **211 $/kWh.**
-Costo Unitario de Energía de EADE promediado para el 2004: **332 $/kWh.**

Conviene destacar que la diferencia en el CUEG para la MCH tal cual existe y de la MCH rediseñada, se debe en parte al hecho de no haber tomado en cuenta la inflación general (IPC) dentro del costo del dinero para esta última. Esta aproximación se considera válida bajo el supuesto de que la inflación general afecta de manera similar: insumos, salarios y precio de la energía. Quizá se piense que esta simplificación no resulta correcto aplicarla, dado que los costos del acero han subido a ritmos muy por encima de la inflación general y que en una obra de este tipo el impacto del acero es definitivo. Sin duda lo es; sin embargo no se debe olvidar que en la MCH rediseñada, se sustituye este material en el caso mas significativo: el de la tubería de carga. Además, al redimensionar varios de los componentes de la MCH también se reduce la demanda de acero para éstos.

Un factor que afecta el costo de la energía en Centrales Hidroeléctricas y que para este proyecto no se tuvo encuenta, es el correspondiente a la operación y manejo, pues en Pipintá la presencia de un operario en la casa de máquinas solo se hace necesaria durante la arrancada y parada de la MCH. Lo anterior debido: al grado de automatización que posee la MCH, a que funciona las 24 horas del día y a la baja repercusión que para el complejo hotelero tiene el corte súbito del fluido eléctrico; por eso en Pipintá esta función es asumida por una persona de oficios varios y en una fracción de tiempo insignificante.
Otra consideración que quizá se piense desvirtúa estos resultados es el no haber incluido el precio de la tierra en el costo total de la MCH. A este respecto se insiste en que la energía generada es para satisfacer la necesidad de un usuario, quien es dueño de la tierra. Pero mas que eso, la presencia de ésta no le significa ningún costo de oportunidades, como quiera que ningún componente de la MCH interfiere en las actividades que se llevan acabo allí; además, el área total ocupada por los componentes de dicha MCH es menor a 0.02 hectáreas.

Un aspecto que conviene mirar dada la incertidumbre asociada a la perduración del proyecto hotelero en el tiempo es el de Período de Recuperación de la Inversión. Para realizar este cálculo se dividió el monto de la inversión inicial por el ahorro hecho al no consumir energía proveniente de la red previa resta de los gastos anuales en que se incurre con la MCH. Con dicho valor se ingresa en una tabla de descuentos por periodos a la tasa de interés real definida para este proyecto según la relación (3). Los resultados fueron de 11 años para la MCH actual y de menos de 8 años para la propuesta de rediseño. Un tiempo mucho menor cotejado con los mas de 25 años que lleva funcionando el complejo turístico.

7. Conclusiones

Como se percibe de las cifras sobre CUEG, la electricidad obtenida a través de la MCH proporciona un ahorro superior al 21% en el caso actual y al 36% para la propuesta de rediseño; lo que justifica la inversión en la MCH y corrobora como cierta la satisfacción que manifiesta el propietario con la presencia de ésta.

El caso presentado en este artículo, muestra como en sitios rurales con interconexión eléctrica puede ser viable económicamente la implementación de MCH con fines de sustitución de energía eléctrica.

De lo descrito en esta reseña, se intuyen dos factores socioeconómicos claves para la viabilidad de una MCH en la región rural interconectada de Colombia. Uno de ellos corresponde a un nivel de consumo de energía significativo; por los resultados del caso analizado habría certeza con 35 kW y un FU de al menos 0.25. El otro factor socioeconómico corresponde a un consumo de energía concentrado en un solo cliente.
La viabilidad de un proyecto de esta naturaleza en las condiciones aquí mencionadas esta garantizado si se recurre en su totalidad a la Ingeniería Nacional. Queda comprobado que existe en Colombia ingeniería suficiente para abordar proyectos de esta naturaleza; con autonomía total, en los casos donde se puedan implementar turbinas pelton.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento por la información suministrada a las siguientes personas:
- Sr. Iván Mejía, gerente del Hotel MIRADOR DEL PIPINTÁ.
- Ingeniero Gustavo Arroyave, gerente de CIVELC Ltda. de Medellín.
- Ingeniero Juan Fernando Gallego, gerente de CONSTRUCTODO Ltda. de Cartago.

Notas.

1. A falta de un criterio unificado, se asume aquí para las Micro hasta 100 kW y para las Mini de 100 a 1000 kW.
2. Empresa Antioqueña de Energía S.A. ESP. Comercializadora de la energía eléctrica en el sector rural del Dpto. de Antioquia.
3. Tasa de variación del IPC: 1998 – 16.7%; 1999 –9.2%; 2000 – 8.8%; 2001 – 7.7%; 2002 – 7.0%; 2003 – 6.6%; (DANE, 2005).
4. En la alternativa que presenta el rediseño no se requiere mantenimiento para la tubería ya que ésta va enterrada para

protegerla de los rayos solares.
5. La alternativa que contempla el rediseño incluye transformadores.
6. En Colombia existen MCH operando con mas de 50 años.
7. Ante la falta de medida de la energía eléctrica consumida en el tiempo, este índice se estimó con base en los siguientes items: nivel de ocupación del hotel durante el año, número de empleados y venta de comidas a no huéspedes asumiendo un consumo de 4 kWh/persona-dia.

Bibliografía.

ACIEM– Capítulo Antioquia. Reglamentación oficial de tarifas para Ing, Mecánica. Separata Nº 3. Medellín, enero 1988.

BANCO DE LA REPUBLICA. Información Económica. Estadísticas.
www.banrep.gov.co. Visitado Mayo 2005.

CENTELSA. Lista de precios Nº 258.
www.centelsa.com.co/productos. Visitado Abril 2005.

CUARTAS Mario -Taller Ingeman Ltda.- Comunicación privada. Bello 2004.

DANE. Economía.
www.dane.gov.co. Visitado Mayo 2005.

EADE S.A. ESP. Tarifas.
www.eade.com.co/archivo/tarifas - Visitado Mayo 2005.

ELECTROBRAS – Centrais Eléctricas Brasileiras S.A. Manual de Minicentrais Hidrelectricas. Ministerio das Minas e Energia. Brasil 1985. 510 páginas.

MANRIQUE, Oscar y GRANDA, Catalina. Introducción a las relaciones Energía – Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Medellín 2004. 217 páginas.

PAVCO. Manual Técnico. Man-Unión Platino. Bogotá, Mayo de 2002. 30 páginas.